

ANALISIS HUBUNGAN TEMPERATUR RUANGAN DENGAN OPERASI *FUEL GAS COMPRESSOR* (FGC) DI PEMBANGKIT PRO POMU PRIOK BLOK 3



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

KHOIRIL ANWAR

D 400 160 129

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS HUBUNGAN TEMPERATUR RUANGAN DENGAN OPERASI
FUEL GAS COMPRESSOR (FGC) DI PEMBANGKIT PRO POMU PRIOK
BLOK 3**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

KHOIRIL ANWAR

D 400 160 129

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Agus Supardi. S.T.,M.T.

NIK. 883

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS HUBUNGAN TEMPERATUR RUANGAN DENGAN OPERASI
FUEL GAS COMPRESSOR (FGC) DI PEMBANGKIT PRO POMU PRIOK
BLOK 3**

OLEH

KHOIRIL ANWAR

D400160129

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Selasa, 9 Juni 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

- | | |
|--|---|
| 1. Agus Supardi. S.T.,MT
(Ketua Dewan Penguji) | () |
| 2. Ir. Jatmiko, MT
(Anggota I Dewan Penguji) | () |
| 3. Hasyim Asy'ari, ST.MT
(Anggota II Dewan Penguji) | () |

Dekan,

Ir. Sri Sunarjono M.T , Ph.D
NIK. 628

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 1 Mei 2020

Penulis



KHOIRIL ANWAR

D 400 160 129

ANALISIS HUBUNGAN TEMPERATUR RUANGAN DENGAN OPERASI *FUEL GAS COMPRESSOR* (FGC) DI PEMBANGKIT PRO POMU PRIOK

BLOK 3

Abstrak

Motor listrik merupakan mesin konversi energi yang mana mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Dalam perkembangannya, telah banyak bermunculan jenis-jenis motor yang mana merupakan suatu kemunculan ide-ide demi menggapai tuntutan dari masa depan terhadap krisis energi. Motor listrik merupakan sebuah mesin yang banyak diaplikasikan dalam hal sistem penggerak, salah satunya adalah dipakai di peralatan pendukung pada suatu sistem pembangkitan listrik di pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU). Beberapa parameter yang digunakan untuk mengetahui *prime mover* penggerak motor yang lebih baik yaitu torsi, daya, temperatur ruangan motor penggerak FGC, temperatur belitan motor penggerak FGC, dan peralatan proteksi apabila ada masalah atau gangguan pada motor listrik saat beroperasi. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis hubungan temperatur ruangan motor *Fuel Gas Compressor* (FGC) dan operasi *Fuel gas Compressor* (FGC) di pembangkit Priok POMU Blok 3, dengan beberapa parameter yang digunakan. Parameter yang digunakan yaitu kenaikan temperatur pada ruang motor FGC terhadap temperatur pelumas pendingin dan *winding* motor FGC pada saat *Fuel Gas Compressor* (FGC) beroperasi untuk menaikkan tekanan dan temperatur bahan bakar gas/ *fuel gas* untuk disalurkan ke proses pembakaran pada ruang bakar (*combuster*) di pembangkit PLTGU PRO POMU Priok Blok 3. Tujuan dari unjuk kerja hubungan tersebut adalah untuk rekomendasi penyempurnaan disain dan keandalan pada sistem *Fuel Gas Compressor*. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan nilai perubahan temperatur ruangan terhadap tahanan belitan dan arus motor (FGC) sangat bervariasi, ketika temperatur ruangan sebesar 32,4 °C maka nilai tahanan belitan sebesar 36,3 °C dan nilai arus sebesar 307,7 A, kemudian ketika temperatur ruangan sebesar 61,03 °C maka nilai temperatur belitan sebesar 145,0 °C dan nilai arus sebesar 258,3 A.

Kata Kunci: Motor Listrik, Temperatur Ruangan, Sensor Temperatur, *Fuel Gas Compresor*.

Abstract

Electric motor is an energy conversion machine which converts electrical energy into mechanical energy. In its development, there have been many types of motorcycles which have emerged which are the emergence of ideas in order to reach the demands of the future against the energy crisis. Electric motor is a machine that is widely applied in terms of drive systems, one of which is used in supporting equipment in a power generation system in gas and steam power plants (PLTGU). Some parameters used to find out which prime motor movers are better are torque, power, room temperature of the FGC propeller motor, temperature of the FGC propeller motor winding, and protective equipment if there are problems or disturbances in the electric motor when operating. The purpose of this study was to analyze the relationship between the room temperature of the Fuel Gas Compressor (FGC) motor and the operation of the Fuel gas Compressor (FGC) at the Priok POMU Block 3 plant, with several parameters used. The parameters used are increasing the temperature in the FGC motor chamber to the coolant oil temperature and the FGC motor winding when the Fuel Gas Compressor (FGC) operates to increase the pressure and temperature of the fuel gas / fuel gas to be channeled to the combustion process in the combustion chamber

(combuster) at PLTGU PRO POMU Priok Block 3. The purpose of the relationship performance is to recommend improvements to the design and reliability of the Fuel Gas Compressor system. The results of the analysis carried out the value of room temperature changes on the resistance of windings and motor currents (FGC) vary greatly, at room temperature 32.4 °C has a low wound resistance value of 36.3 °C and the highest current of 307.7A, then at room temperature 61.03 °C the highest winding temperature value is 145.0 °C and the lowest current is 258.3A

Key words: Electric Motors, Room Temperature, Temperature Sensors, Fuel Gas Compressors.

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri motor induksi adalah komponen yang penting dari banyak proses industri dan sering kali terintegrasi dalam peralatan maupun proses secara komersil (Benbouzid, 2000). Motor induksi ini beroperasi secara normal menggunakan sistem daya 3 *phase* dengan 3 kumparan identitas terpisah 120°(Anthony,2014).

Mekanisme gerak dan putar digunakan untuk memutar pompa dan menaikkan tekanan gas bahan bakar dari satu tempat ke tempat yang lain (Gedzurs, 2015). Unit penggerak pompa bahan bakar gas *Fuel Gas Compresor* (FGC) di PRO POMU Priok blok 3 menggunakan motor induksi sebagai penggerak utamanya. FGC mempunyai peran yang sangat penting dalam sistem pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU). FGC digunakan untuk mengalirkan, menaikkan tekanan dan temperatur gas bahan bakar untuk kebutuhan pembakaran pada ruang bakar (*Combuster*) di setiap unit pembangkit PRO POMU Priok. Bila sistem FGC mengalami kerusakan akan menyebabkan masalah proses pembakaran di ruang bakar.

Masalah ini mengakibatkan tidak ada hasil pembakaran yang digunakan untuk memutar sudu-sudu turbin, sehingga turbin akan berhenti berputar. Berhentinya putaran turbin ini menyebabkan terganggunya putaran *rotor* pada *generator* pembangkit karena antara gas turbin (GT) dan *rotor generator* berada pada satu poros. Hal tersebut mengakibatkan proses pembangkitan listrik akan berhenti dan merugikan perusahaan dan masyarakat.

Berdasarkan penyebab tersebut, maka motor induksi penggerak FGC di PRO POMU Priok harus dilengkapi dengan sistem pengaman motor yang berfungsi untuk mencegah gangguan-gangguan yang dapat merusak atau menghentikan motor pada saat beroperasi. Salah satunya adalah pengaman terhadap tingginya temperatur pada kumparan motor penggerak FGC.

Meningkatnya temperatur belitan ini disebabkan kehilangan daya dimana kontribusi utama berasal dari arus yang mengalir melalui belitan *stator* (Harley et al, 2002). Belitan pada setiap motor mempunyai kemampuan menahan temperatur tinggi dengan nilai yang berbeda-beda. Motor pemutar FGC di unit blok 3 PRO POMU Priok ini mampu menahan temperatur sampai 140 °C.

Bila temperatur kumparan di atas 140°C maka motor akan *trip*. Tujuan dari penelitian ini untuk melihat hubungan antara perubahan temperatur ruang FGC dengan temperatur belitan motor FGC.

2. METODE

Beberapa metode dan langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

2.1 Study literatur

Study literatur merupakan langkah awal dalam mengumpulkan informasi dari berbagai referensi seperti buku, e-book, internet dan jurnal nasional maupun internasional yang berhubungan dengan tema penelitian tugas akhir.

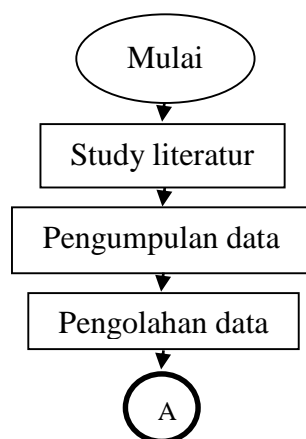
2.2 Pengambilan data

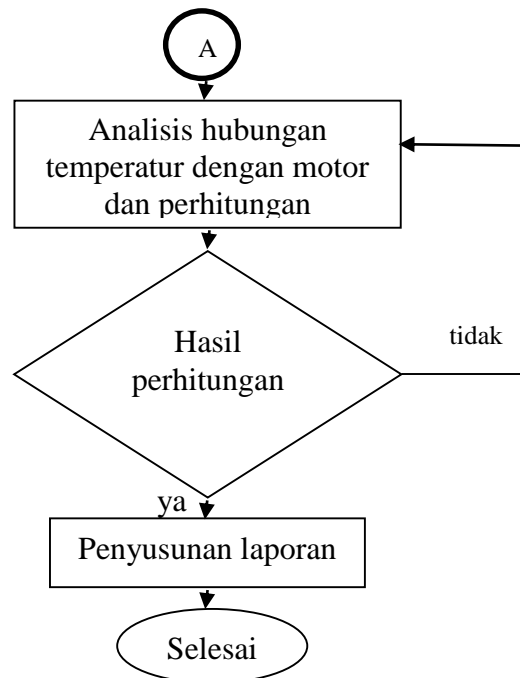
Pengambilan data dilakukan di PT Indonesia Power Priok POMU blok 3, data yang diambil berupa penyebab motor penggerak *Fuel Gas Compressor* (FGC) mengalami *trip*, mengambil data kenaikan temperatur ruangan motor *Fuel Gas Compressor* (FGC) yang tertampil di monitor pada ruang *Central Control Center* (CCR), dan mengambil gambar *set point* temperatur belitan penggerak motor (FGC) *trip*.

2.3 Analisis data

Tujuan dari analisis data yaitu untuk mengolah data yang telah diambil kemudian dianalisis secara manual, data yang sudah diambil yaitu penyebab motor penggerak *Fuel Gas Compressor* (FGC) mengalami *trip* saat beroperasi. Parameter yang menjadi acuan pada analisis ini adalah hubungan antara perubahan temperatur ruang FGC dengan temperatur belitan motor penggerak FGC saat beroperasi. Data hasil perhitungan tersebut akan digunakan untuk memberi informasi tentang temperatur ruangan yang tinggi dapat mengakibatkan meningkatnya temperatur belitan motor penggerak FGC saat motor penggerak FGC tersebut beroperasi secara normal.

2.4 Diagram alir/*Flowchart*





Gambar 1. *Flowchart* penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kronologi *trip* pada motor FGC

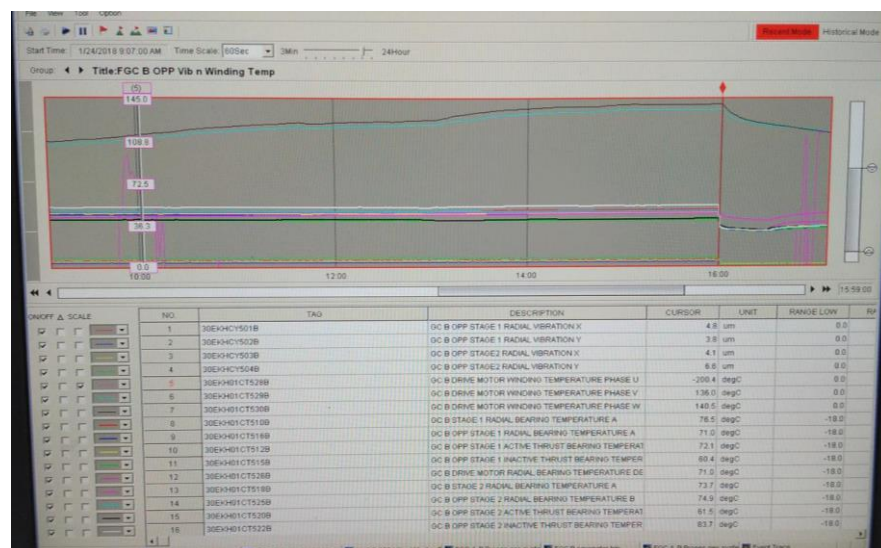
Pada tanggal 24 bulan Januari tahun 2018 terjadi gangguan pada FGC B yang menyebabkan GT 3.2 *trip* saat beban 230 MW, GT 3.1 beban 230 MW menurun ke 80 MW dan ST 3.0 beban 240 MW menurun ke 40 MW. *Trip* FGC tersebut dikarenakan adanya kenaikan temperatur pada belitan motor penggerak FGC sampai menyentuh batas alarm *trip* yang telah ditentukan. Meningkatnya temperatur belitan motor disebabkan oleh tidak normalnya *fan enclosure* sebagai pendingin ruangan motor FGC, sehingga mengakibatkan udara panas pada ruang FGC tidak bisa keluar atau tidak ada sirkulasi udara yang terjadi pada ruangan motor penggerak FGC. Gambar 2 menunjukkan *sequence of event* pada saat FGC *trip* pada tampilan monitor yang ada di ruang *central control room* (CCR) blok 3 ditunjukkan dengan tulisan berwarna merah.

No	Type	LEV	Date/Time	TAG	DESCRIPTION	Status	EOI
69	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT081_03E	GT3-2 GEN CB CLOSED	OFF	GTC2
70	EVT	5	01/24 16:01:31	32GM082_06E	GT3-2 FG MAIN FCV CLOSED	ON	GTC2
71	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT036_02E	GT3-2 STOP	ON	GTC2
72	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT038_01E	GT3-2 START	OFF	GTC2
73	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT043_01E	GT3-2 GAS ON	OFF	GTC2
74	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT040_01E	GT3-2 FUEL RQ	OFF	GTC2
75	D_ANN	2	01/24 16:01:31	32GT718_02A	GT3-2 GEN TRIP (SGGB)	ON	GTC2
76	D_ANN	2	01/24 16:01:31	32GT718_01A	GT3-2 GEN TRIP (SGGA)	ON	GTC2
77	EVT	5	01/24 16:01:31	32GR028_04E	GT3-2 HP PURGE AIR PCV B CLOSED	ON	GTC2
78	EVT	5	01/24 16:01:31	32GC080_05E	GT3-2 FUEL LIMIT CONTROL (33FL)	ON	GTC2
79	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT062_02E	GT3-2 LMAN	ON	GTC2
80	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT061_06E	GT3-2 ALRCG	OFF	GTC2
81	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT061_05E	GT3-2 STRK	OFF	GTC2
82	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT060_01E	GT3-2 LLOPE	ON	GTC2
83	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT061_05E	GT3-2 LDON	OFF	GTC2
84	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT061_04E	GT3-2 MD3	OFF	GTC2
85	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT061_01E	GT3-2 RTDSPD	OFF	GTC2
86	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT060_06E	GT3-2 MIN	OFF	GTC2
87	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT060_07E	GT3-2 ACC	OFF	GTC2
88	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT060_04E	GT3-2 FIRED HOUR	OF	GTC2
89	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT060_02E	GT3-2 MDO-INV	OFF	GTC2
90	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT060_01E	GT3-2 MDO	ON	GTC2
91	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT043_06E	GT3-2 FUEL ON	OFF	GTC2
92	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT043_05E	GT3-2 FLONT	OFF	GTC2
93	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT043_03E	GT3-2 GASONT	OFF	GTC2
94	EVT	5	01/24 16:01:31	32GT592_01E	GT3-2 HN-86GT	OFF	GTC2
95	D_ANN	2	01/24 16:01:31	32GT816_04A	GT3-2 FUEL GAS SUPPLY PRESS L TRIP	ON	GTC2
96	EVT	5	01/24 16:01:20	32AC602_03E	HRSG3-2 BLOW DOWN TANK LEVEL CV CLOSE	OFF	SGC2
97	EVT	5	01/24 16:01:19	31DR209A_02E	HRSG3-1 BLOW DOWN PUMP A STOP	OFF	SGC1
98	EVT	5	01/24 16:01:19	31DR209A_01E	HRSG3-1 BLOW DOWN PUMP A RUN	ON	SGC1
99	EVT	5	01/24 16:01:13	32DR111_02E	HRSG3-2 LP STM DRUM INTERMIT. BLOW ISOL	OFF	SGC2
100	EVT	5	01/24 16:01:11	32AC308_01E	HRSG3-2 LP DRUM INTERMITTENT BLOW CV C	OFF	SGC2
101	EVT	5	01/24 16:01:10	32AC608_03E	HRSG3-2 BLOW DOWN PUMP SUCTION TEMP C	OFF	SGC2
102	D_ANN	1	01/24 16:01:10	31AC402_02A	HRSG3-1 SH-DSH SPRAY WATER CV POSITION	OFF	SGC1

Gambar 2. Sequence Of Event Saat Fuel Gas Compressor B Trip

3.2 Analisis permasalahan

Kronologi terjadi gangguan, Departement Pemeliharaan Listrik blok 3 pembangkit listrik Priok POMU melakukan pemeriksaan *tranding* temperatur belitan *stator* motor. Gambar 3 menunjukkan bahwa telah terjadi kenaikan temperatur melewati dari batas yang diijinkan yaitu 140°C pada belitan *stator* motor mencapai 145°C. Kenaikan temperatur tersebut diduga sebagai penyebab awal *breaker trip*, disebabkan adanya kerusakan pada *fan enclosure* (*van belt* putus) sehingga mengakibatkan temperatur ruangan menjadi panas. Gambar 4 menunjukkan *set point trip* untuk temperatur belitan pada motor penggerak FGC B blok 3.



Gambar 3. Tranding temperatur motor Fuel Gas Compressor B



Gambar 4. *Set point trip* temperatur belitan motor *Fuel Gas Compressor B*

Gambar 3 dapat diketahui bahwa kenaikan temperatur pada belitan motor penggerak (FGC) sudah terjadi sekitar 6 jam sebelum *pickup* ke-145,0 °C dan kemudian membuat motor penggerak FGC mengalami *trip*. Kemungkinan yang dapat menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur diantaranya yaitu :

1. Motor beroperasi dalam beban penuh
2. Sistem pendingin terganggu, karena akibat tidak normalnya *fan enclosure*
3. RTD (*Resistance Temperature Detector*) temperatur belitan tidak bekerja
4. Temperatur ruangan motor *Fuel Gas Compressor (FGC)* tinggi dari batas normalnya

Pada pengujian hubungan temperatur ruang dengan operasi motor penggerak FGC menggunakan motor induksi 3 *phase* AC 3200 kW 6 kV, didapatkan data-data yang nantinya digunakan untuk mengetahui hubungan perubahan temperatur ruangan dengan operasi penggerak motor FGC, di bawah adalah spesifikasi dari motor induksi penggerak FGC.

Tabel 1. Spesifikasi motor induksi 3 *phase*

Model/tipe motor	Service factor	Voltage	Number of phase	Frequency, Hertz (Hz)	Rated Speed (rpm)	Cooling mode	kW/horse power
Motor induksi 3 phase	1.00	6000 V	3	50	3000	Air cooled	3200/4291

Data yang didapatkan penulis pada saat pengambilan ditampilkan pada tabel 1 dan 2, pada tabel 3 data perubahan temperatur saat awal motor mulai *start* kemudian pemantauan setiap 2 jam saat setelah *van belt* motor *fan enclosure* putus sampai motor FGC *trip*. Nilai hambatan saat temperatur belitan naik dilakukan dengan menggunakan pendekatan matematis.

Tabel 2. Data sebelum motor penggerak (FGC) *start*.

Nama motor	Daya motor (kW)	Arus motor (A)	Asumsi resistansi belitan (Ω)	Tegangan motor FGC B (V)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) belitan motor FGC B	Temper ature ruangan ($^{\circ}\text{C}$)
<i>Driven Motor FGC B</i>	3200	307,7	19,5	6000	36,3	32,4

Tabel 3. Data temperatur belitan saat motor beroperasi normal sampai motor FGC *trip*.

Nama data	Awal <i>start</i>	24/01/18	24/01/18	24/01/18	24/01/18
Waktu	<i>Start awal</i>	10.00	12.00	14.00	16.00
Perubahan temperatur belitan ($^{\circ}\text{C}$)	36,3	72,5	84,7	108,8	145,0

3.3 Perhitungan tahanan belitan dipengaruhi oleh berubahnya temperatur ruangan.

$$\Delta t = \theta_2 - \theta_1$$

$$R_1 = R_0 X (1 + \alpha \times \Delta t) \quad (\text{Anthony, 2015}) \quad (1)$$

Dengan;

Δt = Selisih temperatur belitan ($^{\circ}\text{C}$)

θ_1 = Temperatur belitan awal ($^{\circ}\text{C}$)

θ_2 = kenaikan temperatur belitan ($^{\circ}\text{C}$)

R_0 = Nilai hambatan pada suhu awal (Ω)

R_1 = Nilai hambatan setelah terjadi kenaikan suhu (Ω)

α = Koefisien jenis logam (koefisien suhu tembaga = 0,0039)

Tahanan belitan saat temperatur 72,5 $^{\circ}\text{C}$.

$$\Delta t = \theta_2 - \theta_1$$

$$\Delta t = 72,5 \text{ } ^{\circ}\text{C} - 36,3 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 36,2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$R_1 = R_0 \times (1 + \alpha \times \Delta t)$$

$$R_1 = 19,5 \text{ } \Omega \times (1 + 0,0039 \times 36,2 \text{ } ^{\circ}\text{C})$$

$$R_1 = 19,5 \text{ } \Omega \times (1 + 0,14)$$

$$R_1 = 19,5 \text{ } \Omega \times (1,14)$$

$$R_1 = 22,23 \, \Omega$$

Tahanan belitan saat temperatur 84,7 °C.

$$\Delta t = \theta_2 - \theta_1$$

$$\Delta t = 84,7 \, ^\circ\text{C} - 36,3 \, ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 48,4 \, ^\circ\text{C}$$

$$R_1 = R_0 \times (1 + \alpha \times \Delta t)$$

$$R_1 = 19,5 \, \Omega \times (1 + 0,0039 \times 48,4 \, ^\circ\text{C})$$

$$R_1 = 19,5 \, \Omega \times (1 + 0,19)$$

$$R_1 = 19,5 \, \Omega \times (1,19)$$

$$R_1 = 23,205 \, \Omega$$

Tahanan belitan saat temperatur 108,8 °C.

$$\Delta t = \theta_2 - \theta_1$$

$$\Delta t = 108,8 \, ^\circ\text{C} - 36,3 \, ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 72,5 \, ^\circ\text{C}$$

$$R_1 = R_0 \times (1 + \alpha \times \Delta t)$$

$$R_1 = 19,5 \, \Omega \times (1 + 0,0039 \times 72,5 \, ^\circ\text{C})$$

$$R_1 = 19,5 \, \Omega \times (1 + 0,28)$$

$$R_1 = 19,5 \, \Omega \times (1,28)$$

$$R_1 = 24,96 \, \Omega$$

Tahanan belitan saat temperatur 145,0 °C.

$$\Delta t = \theta_2 - \theta_1$$

$$\Delta t = 145,0 \, ^\circ\text{C} - 36,3 \, ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 108,7 \, ^\circ\text{C}$$

$$R_1 = R_0 \times (1 + \alpha \times \Delta t)$$

$$R_1 = 19,5 \, \Omega \times (1 + 0,0039 \times 108,7 \, ^\circ\text{C})$$

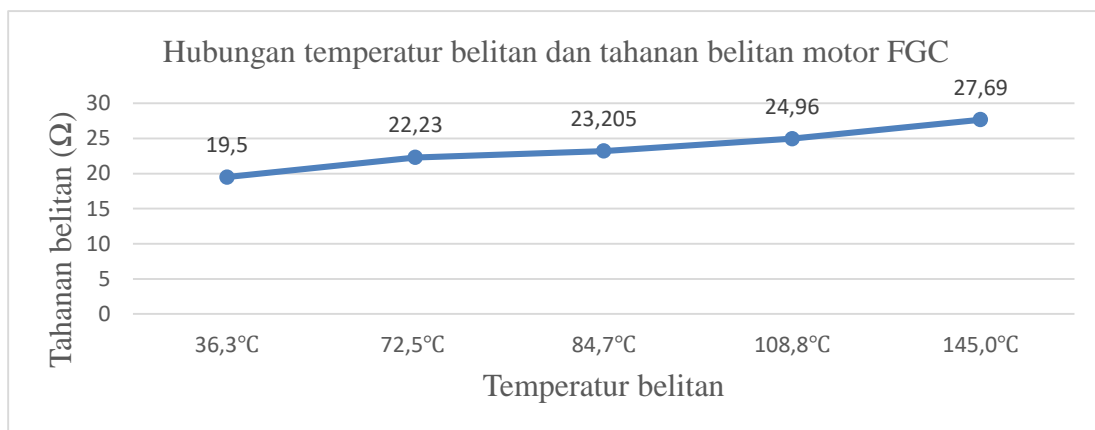
$$R_1 = 19,5 \, \Omega \times (1 + 0,42)$$

$$R_1 = 19,5 \, \Omega \times (1,42)$$

$$R_1 = 27,69 \, \Omega$$

Tabel 4. Hasil perhitungan hubungan temperatur belitan dan tahanan belitan motor FGC.

Nama data	Awal start	24/01/18	24/01/18	24/01/18	24/01/18
Waktu	Start awal	10.00	12.00	14.00	16.00
Temperatur belitan (°C)	36,3	72,5	84,7	108,8	145,0
Tahanan belitan motor FGC (Ω)	19,5	22,23	23,205	24,96	27,69



Gambar 5. Hubungan temperatur belitan dan tahanan belitan motor FGC.

Tabel 4 dan gambar 5, menunjukkan ketika temperatur belitan 36,3 °C maka tahanan motor FGC sebesar 19,5 Ω . Temperatur belitan naik menjadi 72,5 °C maka tahanan motor FGC 22,23 Ω , ketika temperatur belitan sebesar 108,8 °C maka tahanan motor FGC juga naik menjadi 24,96 Ω . Temperatur belitan naik menjadi 145,0 °C maka tahanan motor FGC juga naik 27,69 Ω . Hasil perhitungan hubungan temperatur belitan dengan tahanan belitan motor FGC memiliki nilai yang berbeda. Pada saat *start* awal memiliki nilai temperatur belitan sebesar 36,3 °C dan tahanan belitan sebesar 19,5 Ω paling rendah dari data yang lain, ketika motor FGC sesaat sebelum *trip* memiliki temperatur belitan sebesar 145 °C dan tahanan belitan sebesar 27,69 Ω . Tahanan belitan saat awal *start* memiliki nilai tahanan paling kecil dibandingkan dengan nilai tahanan lain. Tahanan saat motor FGC *trip* memiliki nilai paling besar dari nilai tahanan sebelum motor FGC *trip*. Meningkatnya temperatur belitan pada motor FGC menyebabkan resistansi pada belitan motor ikut meningkat, atau temperatur belitan akan berbanding lurus dengan tahanan belitan motor FGC.

3.4 Perhitungan hubungan temperatur ruangan dan belitan motor penggerak FGC

$$\Delta t = \frac{R_2 - R_1}{R_2} (K + t_1) + (t_2 - t_1) \quad (\text{Aji \& Surijadi, 2014}) \quad (2)$$

Dengan ;

Δt = Kenaikan temperatur belitan ($^{\circ}\text{C}$)

R_1 = Nilai resistansi belitan saat awal *test* (Ω)

R_2 = Nilai resistansi kenaikan temperature (Ω)

K = Konstanta (tembaga = 234,5)

t_1 = Temperatur ruangan sekitar saat awal *test* ($^{\circ}\text{C}$)

t_2 = Kenaikan temperatur ruangan sekitar ($^{\circ}\text{C}$)

Temperatur ruangan saat temperatur belitan motor 72,5 $^{\circ}\text{C}$

$$\Delta t = \frac{R_2 - R_1}{R_2} (K + t_1) + (t_2 - t_1)$$

$$\Delta t = 72,5^{\circ}\text{C} - 36,3^{\circ}\text{C} = 36,2^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{22,23\ \Omega - 19,5\ \Omega}{22,23\ \Omega} \times (234,5^{\circ}\text{C} + 32,4^{\circ}\text{C}) + (t_2 - 32,4^{\circ}\text{C})$$

$$36,2^{\circ}\text{C} = 0,12\ \Omega \times (266,9^{\circ}\text{C}) + (t_2 - 32,4^{\circ}\text{C})$$

$$36,2^{\circ}\text{C} = 32,03 + (t_2 - 32,4^{\circ}\text{C})$$

$$36,2^{\circ}\text{C} - 32,03^{\circ}\text{C} = (t_2 - 32,4^{\circ}\text{C})$$

$$4,17^{\circ}\text{C} = t_2 - 32,4^{\circ}\text{C}$$

$$4,17^{\circ}\text{C} + 32,4^{\circ}\text{C} = t_2$$

$$t_2 = 36,57^{\circ}\text{C}$$

Temperatur ruangan saat temperatur belitan motor 84,7 $^{\circ}\text{C}$

$$\Delta t = \frac{R_2 - R_1}{R_2} (K + t_1) + (t_2 - t_1)$$

$$\Delta t = 84,7^{\circ}\text{C} - 36,3^{\circ}\text{C} = 48,4^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{23,205\ \Omega - 19,5\ \Omega}{23,205\ \Omega} \times (234,5^{\circ}\text{C} + 32,4^{\circ}\text{C}) + (t_2 - 32,4^{\circ}\text{C})$$

$$48,4^{\circ}\text{C} = 0,16\ \Omega \times (266,9^{\circ}\text{C}) + (t_2 - 32,4^{\circ}\text{C})$$

$$48,4^{\circ}\text{C} = 42,7 + (t_2 - 32,4^{\circ}\text{C})$$

$$48,4^{\circ}\text{C} - 42,7^{\circ}\text{C} = (t_2 - 32,4^{\circ}\text{C})$$

$$5,7^{\circ}\text{C} = t_2 - 32,4^{\circ}\text{C}$$

$$5,7^{\circ}\text{C} + 32,4^{\circ}\text{C} = t_2$$

$$t_2 = 38,1^{\circ}\text{C}$$

Temperatur ruangan saat temperatur belitan motor 108,8 °C

$$\Delta t = \frac{R_2 - R_1}{R_2} (K + t_1) + (t_2 - t_1)$$

$$\Delta t = 108,8 \text{ °C} - 36,3 \text{ °C} = 72,5 \text{ °C}$$

$$\Delta t = \frac{24,96 \Omega - 19,5 \Omega}{24,96 \Omega} \times (234,5 \text{ °C} + 32,4 \text{ °C}) + (t_2 - 32,4 \text{ °C})$$

$$72,5 \text{ °C} = 0,22 \Omega \times (266,9 \text{ °C}) + (t_2 - 32,4 \text{ °C})$$

$$72,5 \text{ °C} = 58,7 + (t_2 - 32,4 \text{ °C})$$

$$72,5 \text{ °C} - 58,7 \text{ °C} = (t_2 - 32,4 \text{ °C})$$

$$13,8 \text{ °C} = t_2 - 32,4 \text{ °C}$$

$$13,8 \text{ °C} + 32,4 \text{ °C} = t_2$$

$$t_2 = 46,2 \text{ °C}$$

Temperatur ruangan saat temperatur belitan motor 145,0 °C

$$\Delta t = \frac{R_2 - R_1}{R_2} (K + t_1) + (t_2 - t_1)$$

$$\Delta t = 145,0 \text{ °C} - 36,3 \text{ °C} = 108,7 \text{ °C}$$

$$\Delta t = \frac{27,69 \Omega - 19,5 \Omega}{27,69 \Omega} \times (234,5 \text{ °C} + 32,4 \text{ °C}) + (t_2 - 32,4 \text{ °C})$$

$$108,7 \text{ °C} = 0,3 \Omega \times (266,9 \text{ °C}) + (t_2 - 32,4 \text{ °C})$$

$$108,7 \text{ °C} = 80,07 + (t_2 - 32,4 \text{ °C})$$

$$108,7 \text{ °C} - 80,07 \text{ °C} = (t_2 - 32,4 \text{ °C})$$

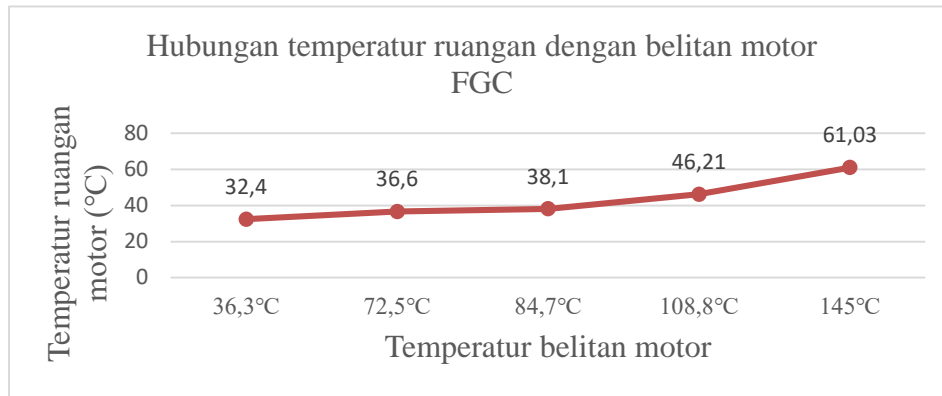
$$28,63 \text{ °C} = t_2 - 32,4 \text{ °C}$$

$$28,63 \text{ °C} + 32,4 \text{ °C} = t_2$$

$$t_2 = 61,03 \text{ °C}$$

Tabel 5. Hasil perhitungan hubungan temperatur ruangan dengan belitan motor FGC

Nama data	Awal <i>start</i>	24/01/18	24/01/18	24/01/18	24/01/18
Waktu	<i>Start</i> awal	10.00	12.00	14.00	16.00
Temperatur ruangan motor FGC (°C)	32,4	36,6	38,1	46,21	61,03
Temperatur belitan motor FGC (°C)	36,3	72,5	84,7	108,8	145,0



Gambar 6. Hubungan temperatur ruangan dengan belitan motor FGC

Tabel 5 dan gambar 6 menunjukkan hubungan temperatur belitan dengan temperatur ruangan motor FGC. Temperatur belitan 36,3 °C maka temperatur ruangan sebesar 32,4 °C, ketika temperatur belitan 72,5 °C maka temperatur ruangan sebesar 36,6 °C, ketika temperatur belitan sebesar 84,7 °C maka temperatur ruangan sebesar 38,1 °C, dan ketika temperatur belitan sebesar 145,0 °C maka temperatur ruangan sebesar 61,03°C. Hasil tersebut menunjukkan ketika temperatur ruangan sebesar 32,4 °C maka temperatur belitan motor FGC sebesar 36,3°C mempunyai nilai paling kecil dibandingkan dengan data perhitungan lainnya. Temperatur ruangan sebesar 61.03 °C maka temperatur belitan motor FGC sebesar 145,0 °C, menunjukkan data temperatur paling tinggi dibandingkan dengan data lainnya. Data di atas menunjukkan bahwa meningkatnya temperatur ruangan motor FGC menyebabkan peningkatan temperatur belitan motor FGC, atau temperatur ruangan berbanding lurus dengan temperatur belitan motor FGC.

3.5 Perhitungan hubungan tahanan belitan dengan arus motor penggerak FGC

$$P = \sqrt{3} \times I^2 \times R \times \cos \theta \quad (\text{Elamvazhuti et al,2012}) \quad (3)$$

Dimana;

P = Daya motor (Watt)

$\sqrt{3}$ = 3 phase

I = Arus (amper)

R = Resistansi (Ω)

$\cos \theta$ = Faktor daya

Hubungan arus motor FGC saat tahanan belitan 22,23 Ω

$$P = \sqrt{3} \times I^2 \times R \times \cos \theta$$

$$3200 \text{ Kw} = \sqrt{3} \times I^2 \times 22,23 \Omega \times 1$$

$$3200 \text{ Kw} = 38,5 \Omega \times I^2$$

$$\frac{3200000 \text{ watt}}{38,5 \Omega} = I^2$$

$$I^2 = 83116,9 \text{ A}$$

$$I = \sqrt{83116,9 \text{ A}}$$

$$I = 288,3 \text{ A}$$

Hubungan arus motor FGC saat tahanan belitan 23,205 Ω

$$P = \sqrt{3} \times I^2 \times R \times \cos \theta$$

$$3200 \text{ Kw} = \sqrt{3} \times I^2 \times 23,205 \Omega \times 1$$

$$3200 \text{ Kw} = 40,19 \Omega \times I^2$$

$$\frac{3200000 \text{ watt}}{40,19 \Omega} = I^2$$

$$I^2 = 79621,8 \text{ A}$$

$$I = \sqrt{79621,8 \text{ A}}$$

$$I = 282,2 \text{ A}$$

Hubungan arus motor FGC saat tahanan belitan 24,96 Ω

$$P = \sqrt{3} \times I^2 \times R \times \cos \theta$$

$$3200 \text{ Kw} = \sqrt{3} \times I^2 \times 24,96 \Omega \times 1$$

$$3200 \text{ Kw} = 43,23 \Omega \times I^2$$

$$\frac{3200000 \text{ watt}}{43,23 \Omega} = I^2$$

$$I^2 = 74022,67 \text{ A}$$

$$I = \sqrt{74022,67 \text{ A}}$$

$$I = 272,07 \text{ A}$$

Hubungan arus motor FGC saat tahanan belitan 27,69 Ω

$$P = \sqrt{3} \times I^2 \times R \times \cos \theta$$

$$3200 \text{ Kw} = \sqrt{3} \times I^2 \times 27,69 \Omega \times 1$$

$$3200 \text{ Kw} = 47,96 \Omega \times I^2$$

$$\frac{3200000 \text{ watt}}{47,96 \Omega} = I^2$$

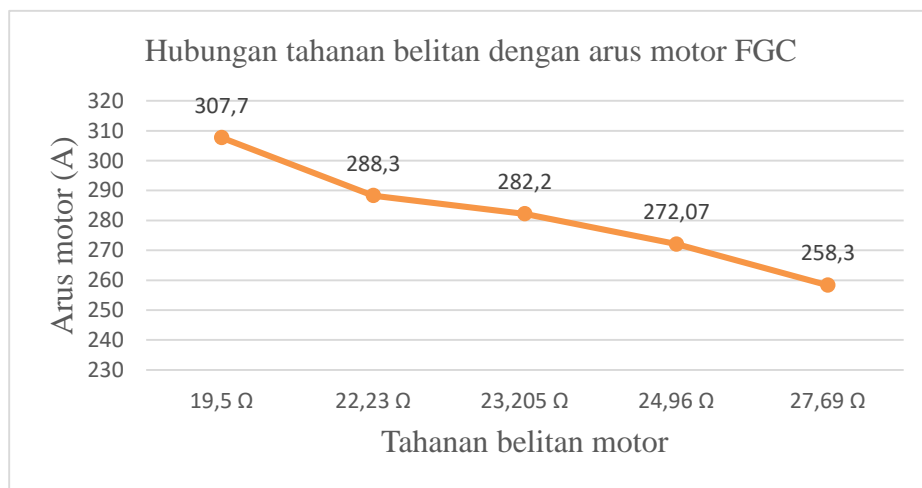
$$I^2 = 66722,3 \text{ A}$$

$$I = \sqrt{66722,3 \text{ A}}$$

$$I = 258,3 \text{ A}$$

Tabel 6. Hasil perhitungan hubungan arus dengan tahanan belitan motor FGC

Nama data	Awal start	24/01/18	24/01/18	24/01/18	24/01/18
Waktu	Start awal	10.00	12.00	14.00	16.00
Tahanan belitan motor FGC (Ω)	19,5	22,23	23,205	24,96	27,69
Arus motor FGC (A)	307,7	288,3	282,2	272,07	258,3



Gambar 7. Grafik hubungan tahanan belitan dengan arus motor FGC

Tabel 6 dan gambar 7 menunjukkan hasil perhitungan tahanan belitan dengan arus motor FGC. Tahanan belitan sebesar 19,5 Ω maka arus motor FGC sebesar 307,7 A, ketika tahanan belitan sebesar 22,23 Ω maka arus motor FGC sebesar 288,3 A, ketika tahanan belitan sebesar 23,205 Ω maka arus sebesar 282,2 A, ketika tahanan belitan sebesar 24,96 Ω maka arus sebesar 272,07 A, dan ketika tahanan belitan sebesar 27,69 Ω maka arus sebesar 258,3 A. Hasil tersebut menunjukkan ketika tahanan belitan sebesar 19,5 Ω maka arus motor sebesar 307,7 A memiliki nilai tahanan belitan paling rendah dengan arus paling tinggi. Ketika tahanan belitan sebesar 27,69 Ω maka arus motor sebesar 258,3 A menunjukkan tahanan paling tinggi dengan arus paling rendah. Data di atas menunjukkan hubungan tahanan belitan dengan arus motor berbanding terbalik, jika tahanan belitan rendah maka nilai arus akan semakin tinggi dan jika tahanan belitan semakin tinggi maka nilai arus akan semakin kecil.

4 PENUTUP

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penyebab utama motor penggerak FGC mengalami *trip* adalah kenaikan temperatur ruangan pada motor FGC yang disebabkan oleh sirkulasi pendingin udara pada ruangan motor FGC tidak ada selama 6 jam karena *van belt* pada motor *fan enclosure* putus.
2. Pada saat temperatur ruangan FGC meningkat, menyebabkan beberapa perubahan nilai pada temperatur belitan motor penggerak FGC, resistansi/tahanan belitan motor FGC, dan nilai arus pada operasi motor penggerak FGC.
3. Hubungan temperatur belitan dan resistansi belitan motor FGC menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur belitan maka semakin tinggi pula nilai resistansi pada belitan motor FGC atau perubahan kenaikan temperatur belitan motor berbanding lurus dengan nilai resistansi belitan motor FGC.
4. Hubungan temperatur ruangan dengan temperatur belitan motor FGC menunjukkan bahwa meningkatnya nilai temperatur ruangan motor menyebabkan meningkatnya temperatur belitan pada motor FGC.
5. Hubungan tahanan belitan dengan arus motor FGC menunjukkan bahwa meningkatnya tahanan belitan pada motor menyebabkan menurunnya nilai arus pada operasi motor FGC tersebut. Meningkatnya tahanan belitan motor FGC berbanding terbalik dengan besarnya nilai arus yang digunakan untuk motor penggerak FGC.

PERSANTUNAN

Alhamdulillah puji syukur kepada ALLAH SWT yang telah memberikan nafas, kesehatan, rizki, nikmat, kemudahan, dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik. Penulisan tugas akhir ini, tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka penulis berterimakasih kepada :

1. Ibu dan Bapak yang selalu mendoakan serta memberikan semangat dan nasehat.
2. Keluarga penulis Fitria Anwar dan Aldiana Prasuri Kinanti yang telah memberikan semangat dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Agus Supardi, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing yang sudah memberikan bimbingannya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Bapak Umar, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta dan seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
5. Bapak Solih, Mas Sufiyan, Mas luky Mas Heru dan Mas Reihan yang telah membimbing dan membantu untuk trcapainnya penyelesaian tugas akhir ini.

6. Pak Wahyu dan Pak Solih selaku mentor pembimbing penulis dalam melaksanakan magang di PT Indonesia Power Priok POMU.
7. Mas Vico, Mas Andri, Mas Hanafi, Mas Rizki, Mas Legowo, Mas Diki Pak Amin, Mas Eko, Mas Agung, dan teman-teman Pemeliharaan Listrik PT. Indonesia Power Priok POMU yang telah membantu dan membimbing penulis belajar pemeliharaan listrik di pembangkit blok 3 dan 4 PT Indonesia Power Priok POMU
8. Ibu Astri, Pak Dika, seluruh staf SDM dan semua pegawai PT Indonesia Power Priok POMU yang telah memberikan kesempatan belajar dan mengambil data tugas akhir ini.
9. Bastomi, Syaefudin, Agita, Bilal, Andy Buana, Adnan dan seluruh teman-teman Teknik Elektro UMS yang telah membantu dan memberikan arahan dalam tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, Z. P., & Surijadi. (2014). Teknik Pengukuran Kenaikan Temperatur Belitan Motor Induksi Menggunakan Metode Resistansi. *Berita Litbang Industri*, 1-6.
- Anthony, Z. (2014). A Simple Method for Operating the Delta Connection Standard of the 3-phase Induction Motor on Single Phase Supply . *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 1 - 5.
- Anthony, Z. (2015). Pengaruh Peningkatan Nilai Tahanan Kumpanan Stator Terhadap Kinerja Motor Induksi 3-Fasa . *Jurnal Momentum ISSN : 1693-752X* , 1 - 4.
- Benbouzid, M. E. (2000). A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection. *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 1 - 10.
- Elamvazuthi, Khan, M. A., Shaari, S. B., Sinnadurai, R., & Amudha, M. (2012). Electrical Power Consumption Monitoring using a Real-time System . *2012 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology (Student) Universiti Tunku Abdul Rahman, Kuala Lumpur, Malaysia*, 1 - 4.
- Gedzurs, A. (2015). Temperature Protection Methods of Induction Motor. *Research For Rural Development* , 258 -263.
- Lee, S. B., Harley, R. G., & Gritter, D. J. (2002). An Evaluation of Model-Based Stator Resistance Estimation for Induction Motor Stator Winding Temperature Monitoring. *IEEE Transaction On Energy Conversion*, 1 - 9.